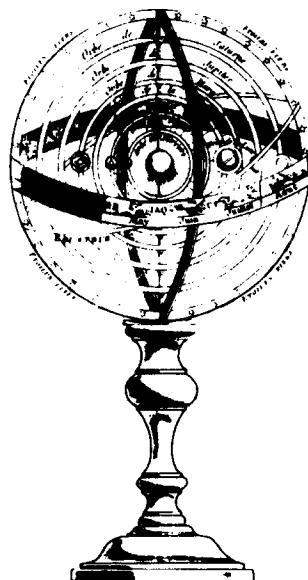


INNOVACIONES DIDÁCTICAS



DE LA NECESIDAD, VIRTUD: CÓMO APROVECHAR LOS ERRORES Y LAS IMPRECISIONES DE LOS LIBROS DE TEXTO PARA ENSEÑAR FÍSICA

CAMPANARIO, JUAN MIGUEL

Departamento de Física. Universidad de Alcalá. 28871 Alcalá de Henares. Madrid

juan.campanario@uah.es

<http://pagina.de/juanmiguel>

Resumen. En este trabajo se presentan y analizan ejemplos concretos de cómo aprovechar los errores e imprecisiones de los libros de texto de física con el fin de conseguir diversos objetivos educativos de distinto nivel.

Palabras clave. Errores en libros de texto, metacognición, actividades de enseñanza.

Summary. In this article I present and analyze examples on how to profit from errors and inaccuracies in Physics textbooks to achieve some several educational goals.

Keywords. Textbooks errors, metacognition, teaching activities.

La causa de aquello estribaba en lo infames que eran los libros. Eran falsos. Estaban escritos con prisas. Pretendían ser rigurosos; pero luego usaban ejemplos que casi estaban bien pero nunca estaban bien del todo (como el usar los coches de la calle como ejemplo de conjunto); siempre tenían alguna pega. A las definiciones les faltaba precisión. Todo era un poco ambiguo; los autores no eran lo bastante listos como para comprender lo que significaba «rigor»; sólo lo fingían. Pretendían enseñar algo que aquellos no comprendían, y lo que es más, algo que, de hecho, al alumno le era totalmente inútil en ese momento.

Richard, P. (Premio Nobel de Física)
Juzgar libros por las tapas, en *¿Está usted de broma señor Feynman?*
Alianza Editorial, Madrid, 1987

1. INTRODUCCIÓN

Como es sabido, los libros de texto son uno de los recursos más utilizados en las clases de ciencias, sirven como materiales de consulta y referencia y, tal vez algo ingenuamente, se tiende a suponer que la información que aparece en ellos está siempre libre de errores. De hecho, durante mucho tiempo se ha concebido este instrumento como el depósito del conocimiento correcto o, al menos, comúnmente admitido por toda la comunidad científica. Sin embargo, son muchas las evidencias que demuestran que los manuales escolares de ciencias contienen errores e imprecisiones de diverso tipo, por ejemplo, Bauman (1992a, 1992b, 1992c), Cox (1996), De Manuel (1994), Gauld (1997), Iona (1990), Michinel y D'Alessandro (1994), Slisko (1995, 1999), Slisko y Krokhnin (1995), Solbes, Calatayud, Climent y Navarro (1987). En general, la investigación en este terreno se ha limitado a la enumeración, clasificación y, a veces, corrección de los errores e imprecisiones, si bien, en algún caso, los investigadores han ido más allá y han relacionado las deficiencias en los libros de texto con la comprensión inadecuada de los conceptos científicos por los alumnos, por ejemplo, Dall'Alba, Bowden, Masters y Stephanou (1993), Gil, Martínez-Torregrosa y Senent (1988, cap. 3).

Quizá la recopilación más reciente y exhaustiva de errores e imprecisiones de todo tipo en libros de física de nivel de enseñanza secundaria sea la de Hubisz (2001), disponible en la dirección web <www.psrc-online.org/curriculum/book.html>. Esta sorprendente colección es el resultado de un trabajo de investigación en el que han intervenido 8 revisores que inspeccionaron 19 manuales de física utilizados en Estados Unidos. La lista de problemas encontrados es impresionante (en algún libro se han detectado hasta 20 errores y deficiencias en las figuras contenidas en un espacio de 100 páginas).

Ya que, según parece, no podemos eliminar completamente los errores e imprecisiones de los libros de texto de ciencias, deberíamos aprender a vivir con ellos y tratar incluso de sacar algún provecho de los mismos. Un paralelismo con la investigación en áreas como biomedicina puede ser interesante. Es sabido que muchos medicamentos tienen efectos secundarios. En general, estos efectos secundarios suelen considerarse un inconveniente, pero también pueden desencadenar nuevas líneas de investigación orientadas a identificar nuevos usos terapéuticos en los medicamentos que se utilizan habitualmente. Así, por ejemplo, en

el tema que nos ocupa, Whiting sugirió hace años en términos generales que se utilizasen los errores de los libros de texto como una fuente de actividades para la enseñanza (Whiting, 1991). Otro autor, Fraser, (<http://fraser.cc>) propone la búsqueda de errores como una tarea que se puede asignar a los alumnos. También nosotros hemos recomendado en otro trabajo una tarea de *búsqueda y captura* de errores de los libros de texto como una actividad útil para alumnos y profesores (Campanario, 2001a) (Cuadro I).

El objetivo de este artículo es impulsar una nueva línea de actuación orientada a la práctica diaria en el aula: el uso de los errores e imprecisiones de los libros de texto de ciencias como un recurso más en la enseñanza. Se pretende desarrollar un nuevo enfoque alternativo a los que se han citado más arriba y sugerir tareas clasificadas de acuerdo con el tipo de actividad que se realiza y el nivel taxonómico del tipo de aprendizaje que se busca. Además, se relaciona cada actividad con uno o varios errores o imprecisiones identificados en algún manual escolar en particular o, lo que es más frecuente, en alguno de los trabajos publicados sobre este tema. En este empeño, la recopilación de Hubisz (2001) ha resultado especialmente útil por la cantidad y variedad de errores e imprecisiones que incluye y por el grado diferente de gravedad que éstos suponen. Queremos ir más allá de la simple tarea de *detección* de errores e imprecisiones, algo que, probablemente, exceda las capacidades y los conocimientos de muchos alumnos, dado que, como es evidente, muchas de estas deficiencias permanecen sin detectar incluso por revisores competentes y por especialistas en la materia (Hubisz, 2001).

En el diseño de las tareas de aprendizaje que se proponen, es preferible aprovechar los trabajos publicados sobre errores e imprecisiones a buscar nuevos ejemplos uno mismo, ya que los artículos publicados han sido sometidos, casi siempre, a un proceso de revisión que ofrece algunas garantías sobre la veracidad y consistencia del problema detectado. Además, así se revaloriza una línea de trabajo en didáctica de las ciencias que, generalmente, se suele considerar casi como anecdótica. Si nos hemos centrado en la física es porque el trabajo realizado en este terreno es más abundante.

Cuando se citan ejemplos tomados de manuales escolares, en este artículo se prefieren los libros de texto de BUP y

COU, por tanto, anteriores a la reforma de la enseñanza en el nivel de secundaria en España. Nuestro objetivo no es tanto destacar la parte negativa de los libros de texto y poner de manifiesto las deficiencias y problemas (algunos de los cuales persisten en los manuales escolares actuales) como encontrar un aspecto positivo que permita aprovechar dichos inconvenientes como un recurso de enseñanza. Ciertamente, una parte de los errores e imprecisiones citados en este artículo son viejos conocidos de los profesores de ciencias, que seguramente sentirán una sensación de *ya visto* cuando los lean aquí. Dado el objetivo de este trabajo (utilizar positivamente, más que denunciar), creemos que es positivo proponer ejemplos conocidos (o, al menos, familiares) con el fin de centrarnos en los aspectos didácticos de su aplicación en el aula.

Se precisa una matización: en algún caso, los autores de libros de texto pueden verse obligados, por la secuenciación de contenidos o por el nivel de los alumnos a quienes se destina el manual, a forzar las definiciones; a presentar las situaciones, conceptos o principios de manera simplificada o a *cometer* otro tipo de errores e imprecisiones. Es evidente que esta circunstancia, aunque puede contribuir a explicar el origen de los problemas, no altera en absoluto nuestro objetivo, dado que estamos interesados en utilizar las deficiencias como un recurso didáctico, independientemente del origen de las mismas.

Algunos autores han relacionado los defectos de los libros de texto con las ideas previas de los alumnos, por ejemplo, Gil, Martínez-Torregrosa, Senent (1988, cap. 3). Si bien algunos de los errores e imprecisiones que se utilizan en este artículo pueden ser muy semejantes (e incluso idénticos) a las ideas alternativas de los estudiantes y pueden servir para ponerlas en evidencia, no es éste el único uso que se propone. Existen otras fuentes de dificultad en el aprendizaje de las ciencias, como son, por ejemplo, las pautas inadecuadas de razonamiento de los estudiantes (Campanario y Otero, 2000). Entre estas pautas inadecuadas de razonamiento cabe destacar el uso de estrategias de aprendizaje superficiales y otras como no tener en cuenta determinadas variables que influyen en una situación física o hacerlo de manera secuencial (más que conjunta), etc. Como se puede comprobar, en algunos de los ejemplos que se proponen en este artículo se incurre en deficiencias similares a las que se pueden detectar en los alumnos; de ahí su utilidad como recurso didáctico.

Una ventaja adicional del uso didáctico de los errores e imprecisiones de los manuales escolares es que, en principio, se puede ayudar a los alumnos a *aprender a aprender* o a aprender sobre su propio aprendizaje. En los últimos años, estos objetivos *metacognitivos* empiezan a recibir la atención que merecen por parte de los profesores e investigadores sobre enseñanza y aprendizaje de las ciencias (Campanario, 2000; Campanario y Moya, 1999; Campanario y Otero, 2000; Campanario, Cuerva, Moya y Otero, 1998). Los aspectos metacognitivos del aprendizaje no sólo se refieren al control de los propios procesos cognitivos, sino que también abarcan las concepciones epistemológicas sobre la ciencia y el conocimiento científico. Cuando enseñamos a los alumnos que incluso un material tan reverenciado y *presuntamente inocente* como su libro de texto

puede contener errores e imprecisiones estamos, sin duda, incidiendo en sus concepciones epistemológicas sobre los criterios de rigor y validez del conocimiento científico. Por otra parte, cuando hemos utilizado este recurso en clase, hemos observado una sensación en los alumnos de mayor confianza en los propios conocimientos y una actitud más crítica hacia las deficiencias detectadas en los manuales universitarios: los alumnos intentan *cazar* nuevos errores, deficiencias e imprecisiones.

El resto del artículo se organiza como sigue: en la sección 2 se presentan distintos modelos de actividades que se pueden realizar utilizando errores, imprecisiones y otras deficiencias de los libros de texto de física o física y química. En la sección 3 se describen los usos concretos que se sugieren para aprovechar estos errores e imprecisiones de los manuales escolares como un recurso en aula. Estas aplicaciones están clasificadas siguiendo una taxonomía sencilla. El profesor interesado en este recurso, simplemente tiene que elegir cada ejemplo concreto de esta sección 3 y diseñar actividades de acuerdo con cualquiera de los modelos de la sección 2. Evidentemente, no todos los casos descritos en la sección 3 son compatibles con todas las actividades propuestas en la sección 2. Dado que no parecen existir muchos trabajos sobre este tema, en este artículo se prefiere ofrecer un repertorio amplio de posibles ejemplos que pueden utilizarse en la enseñanza (sección 3) junto con unas definiciones generales de actividades a realizar (sección 2) y unos cuantos ejemplos muy detallados como en el cuadro I). El límite a las nuevas tareas que es posible diseñar lo marca sólo la imaginación del profesor.

2. EJEMPLOS DE ACTIVIDADES DIDÁCTICAS BASADAS EN ERRORES, IMPRECISIONES Y OTRAS DEFICIENCIAS DE LOS LIBROS DE TEXTO DE FÍSICA

En este apartado se proponen diferentes tareas para realizar en clase utilizando como base los errores e imprecisiones que se describen en la sección 3. Un ejemplo detallado de este tipo de tareas aparece en el cuadro I y consiste en la detección y análisis de errores e imprecisiones en un libro de texto. Siempre que nos referimos a un texto, sin más, se entiende que éste contiene errores o imprecisiones. Otras actividades didácticas son:

- a) Lectura de un texto seguida de una discusión en clase.
- b) Lectura de un texto y comparación con otro texto *sin* el error o la imprecisión que contiene el primero.
- c) La misma tarea, seguida de una discusión en clase.
- d) Enumeración por los alumnos de qué errores o imprecisiones se pueden cometer en la interpretación de un fenómeno o un concepto y comparación posterior con algún ejemplo tomado de un libro de texto con deficiencias.
- e) Clasificación de errores e imprecisiones en taxonomías sencillas y análisis de los criterios utilizados para ello. El objetivo es fomentar una discusión y un debate en torno a

los propios criterios, más que obtener una clasificación correcta o útil, algo que, probablemente, está fuera del alcance de la mayor parte de los estudiantes. También se pueden evaluar o calificar los razonamientos de los alumnos acerca del error o la imprecisión.

f) Análisis del contexto previo de un error o una imprecisión con el fin de descubrir los elementos que llevan al autor de un manual escolar a incurrir en ellos.

g) Redacción de una nueva versión del texto con las definiciones y contenidos mejorados de forma que no exista el error o la imprecisión. Esta actividad resulta especialmente interesante porque ayuda al alumno a procesar en profundidad los contenidos y a tomar conciencia de lo difícil que resulta definir adecuadamente los conceptos científicos.

h) Una tarea interesante consiste en suponer que el error o la imprecisión que se han identificado no son tales y obtener alguna consecuencia. Esto puede implementarse, por ejemplo, en una tarea de resolución de problemas. Fácilmente se llega a alguna contradicción con principios y leyes generales de la física o a un resultado absurdo.

i) Lectura de un texto (sin avisar de que contiene errores o imprecisiones) seguida de una actividad en la que se pide a los alumnos que señalen aquello que no hayan entendido. Es muy posible que los errores e imprecisiones no siempre figuren entre los problemas de comprensión detectados.

j) Análisis de las diferencias entre el lenguaje natural y el lenguaje científico que explican algunas de las definiciones defectuosas o imprecisas.

k) Dado que algunas simplificaciones pueden tener su origen en que en un determinado capítulo todavía no se han abordado todos los conceptos relevantes, puede ser adecuado volver atrás cuando ya se hayan tratado todos los contenidos implicados para identificar aparentes imprecisiones o deficiencias en los capítulos iniciales. Se ayuda así a los alumnos a ser conscientes de sus avances.

l) Lectura de diferentes versiones de un mismo texto, una de las cuales es la errónea (tomada de un manual escolar). Se trata de que los alumnos descubran cuál es. Dado que, con frecuencia, los contenidos científicos son contraintuitivos, es posible que los alumnos identifiquen *falsos errores*.

m) Los errores e imprecisiones en los libros de texto pueden servir también como fuente de preguntas abiertas orientadas a detectar o poner de manifiesto ideas previas o pautas de razonamiento de los alumnos de la misma manera que otras actividades clásicas orientadas a tal fin (por ejemplo, las recopilaciones publicadas en Carrascosa y Gil, (1992) o Furió y Guisasaola (1999) que no están basadas en errores de libros de texto).

n) Diseño y realización de experiencias y experimentos para comprobar que los errores son tales. De esta manera se intenta fomentar actitudes de escepticismo científico y se pone en práctica aquello que tanto repetimos los profesores: hay que verificar las cosas por uno mismo.

o) Búsqueda por los alumnos de contraejemplos tomados de situaciones físicas que sirvan para demostrar el error o la imprecisión.

p) Análisis por los alumnos de qué contraejemplo o contraejemplos tomados de situaciones físicas y proporcionados por el profesor sirven para demostrar el error o la imprecisión. En este caso el alumno no debe generar la respuesta, sino analizar si es válida para refutar el error.

q) Análisis de los razonamientos que se utilizan para definir qué es un error o qué es una imprecisión. Dado que, con frecuencia, los contenidos científicos son contraintuitivos, el sentido común no siempre puede utilizarse para categorizar los errores e imprecisiones. Los alumnos se verán forzados a buscar contradicciones entre los errores y los principios y leyes científicas.

r) Una variante de la actividad anterior es pedir a los alumnos que califiquen la gravedad del error o imprecisión que aparece en un libro de texto con o sin justificación de la calificación asignada.

s) Realización de pequeñas investigaciones históricas tratando de documentar la persistencia de determinados errores e imprecisiones en libros de texto de diferentes épocas. Puede ser interesante comparar los matices y diferencias en la forma de presentar los errores e imprecisiones. Para este tipo de tareas se pueden utilizar los viejos manuales escolares almacenados en las bibliotecas de los centros de enseñanza.

t) Sustitución de términos y conceptos por las definiciones erróneas o imprecisas para comprobar si estas definiciones inadecuadas siguen teniendo rigor en diferentes contextos (más adelante se analiza un ejemplo relativo al concepto de *corriente eléctrica*).

u) Los errores e imprecisiones pueden servir al profesor para justificar la necesidad de abordar determinados contenidos (véase más adelante el ejemplo relativo a la precisión instrumental).

v) Elemento motivador para activar el interés de los alumnos. Por ejemplo, al empezar un nuevo tema, el profesor puede decir algo como: «una vez que hayamos terminado esta lección seréis capaces de decir por qué lo que aparece en la página... del libro está mal».

Naturalmente, las actividades anteriores pueden servir también como instrumentos de evaluación y, tanto si se utilizan así como si se usan como un recurso de enseñanza, deben adaptarse al nivel de los alumnos. Probablemente, algunas de las tareas que se proponen en este trabajo sólo se pueden realizar con estudiantes universitarios. Además, debido al tiempo que requiere, puede resultar conveniente encomendar la tarea como un ejercicio para realizar en grupo o en casa. Es posible organizar una competición entre diversos grupos. Además, si los distintos grupos exponen sus trabajos mediante carteles, todos pueden participar abiertamente en un debate.

3. EJEMPLOS DE UTILIZACIÓN DE LOS ERRORES E IMPRECISIONES EN LIBROS DE TEXTO DE FÍSICA

3.1. Aprendizaje del contenido conceptual

En esta sección se presentan y analizan ejemplos que pueden servir para diseñar actividades y tareas orientadas a favorecer el aprendizaje del contenido conceptual.

Analizar y cuestionar ejemplos de ideas alternativas

Como es sabido, los alumnos de ciencias de enseñanza secundaria e incluso de universidad mantienen ideas inadecuadas sobre diversos fenómenos científicos (Campanario y Otero, 2000; Carrascosa y Gil, 1992; Driver, Guesne y Tiberghien, 1989; Hierrezuelo y Montero, 1991). Estas ideas alternativas son resistentes al cambio y su eliminación o sustitución por ideas científicamente adecuadas constituye el objetivo explícito de muchos enfoques docentes. Curiosamente, algunos errores e imprecisiones en libros de texto pueden servir para ilustrar estas ideas alternativas.

El siguiente ejercicio puede servir para analizar la conocida idea alternativa según la cual el movimiento de los cuerpos va siempre asociado a una fuerza.

Se necesita una fuerza de 12 N para empujar un objeto en el suelo sin que exista fricción. En realidad, la fricción ejerce una fuerza de 3 N. Si tu ejerces una fuerza de 7 N, ¿qué fuerza debería ejercer un amigo para que podáis mover el objeto entre los dos? (nótese cómo en el enunciado no se menciona ninguna aceleración inicial) (Hubisz, 2001, p. 75).

El rozamiento trabaja en la dirección opuesta a la fuerza de movimiento. En este breve enunciado se incurre en tres errores, dos de los cuales están muy relacionados con ideas alternativas de los alumnos (Hubisz, 2001, p. 11). Afirmaciones similares han sido identificadas en un estudio sobre el tratamiento de las fuerzas de rozamiento en los libros de física de nivel universitario (Concari, Pozzo, Giorgi, 1999, p. 276).

Comprender correctamente conceptos o magnitudes que se definen en función de transferencia o flujo de otras magnitudes

Los cambios son fundamentales en ciencia, así como los flujos y transferencias. En este apartado se recurre a imprecisiones muy comunes en las definiciones de algunos conceptos o magnitudes que se presentan como flujo de otras o en relación con la transferencia de otras.

En muchos libros se presenta el calor como un proceso en el que existe una *transferencia* de energía entre dos cuerpos cuando existe una diferencia de temperaturas entre ellos. Si presentamos el calor como un proceso de transferencia de energía, ¿qué sentido tiene hablar de flujo o intercambio de calor? (¿transferencia de la transferencia?), algo muy común en casi cualquier libro. Slisko y Dykstra (1997) han analizado con detalle este problema (1997).

Como ejemplo de este tipo de contradicciones que aparecen en manuales universitarios ampliamente utilizados, sirvan estas dos citas tomadas del mismo libro:

«Se ha visto que es posible transferir energía entre un sistema y su entorno de dos maneras: una es trabajo...; la otra es la transferencia de calor, la cual se lleva a cabo a nivel microscópico y se manifiesta por cambios en la temperatura [...]»

«[...] Se ve que los efectos de realizar trabajo mecánico sobre un sistema y los de agregar calor directamente, como una llama, son equivalentes. Es decir, tanto el calor como el trabajo son formas de energía [...]» (Michinel y D'Alessandro, 1994, p. 374).

Como es sabido, incluso los científicos utilizan este tipo de terminología, lo cual puede servir para ilustrar los diferentes marcos conceptuales que se manejan en la interpretación y uso de los conceptos científicos.

De la misma manera, la definición de *corriente eléctrica* como un flujo de cargas debería impedirnos hablar de *flujo de corriente*, para referirnos al movimiento de las cargas, algo que es bastante común en los libros de texto.

Una actividad útil en estos casos consiste en sustituir los términos *calor* o *corriente eléctrica* por sus definiciones y ver si lo que queda tiene sentido. Otra tarea interesante puede consistir en pedir a los alumnos que busquen distintas definiciones de estos conceptos y magnitudes tan problemáticos (calor, potencia, corriente eléctrica) y los comparen entre sí.

Comprender que las situaciones de equilibrio no tienen por qué ser necesariamente simétricas

Es posible que los alumnos asocien los equilibrios a situaciones físicas simétricas espacial o geoméricamente. Ésta no es sino una de las pautas inadecuadas de razonamiento que suelen utilizar nuestros pupilos (Campanario y Otero, 2000).

Al estudiarse el principio de Arquímedes, es habitual que, cuando el peso es igual al empuje, se presenten ilustraciones con objetos sumergidos justamente a una profundidad media, a igual distancia de la superficie del líquido y del fondo. Se refuerza así implícitamente una idea simple según la cual una situación de igualdad de fuerzas debe dar lugar a una situación simétrica. En algún libro incluso se afirma: «Si el peso tiene el mismo valor que el empuje $P = E$, el cuerpo se sumerge en el fluido sin llegar al fondo (Bascones, Latorre, Moliner y Rius, 1990, p. 103).

Explicitar todos los factores y elementos que son necesarios en una definición

Aunque las definiciones científicas deberían tener en cuenta todos los elementos necesarios para que alcancen el rigor y generalidad que se espera de ellas, en algunas de las que se encuentran en manuales escolares faltan elementos y, por tanto, resultan incorrectas o incompletas.

Las definiciones de *calor* como «energía que se transfiere de un cuerpo a otro» sin tener en cuenta una diferencia de temperaturas son incompletas, dado que son compatibles con el proceso mediante el cual se incrementa la energía potencial de un muelle cuando lo comprimimos (identificado en (Hubisz, 2001, p. 13).

Un enunciado incompleto de la primera ley de Newton es: «Un objeto en movimiento seguirá moviéndose a menos que actúe sobre él una fuerza externa.» Evidentemente, en esta definición particular hace falta añadir *con movimiento rectilíneo uniforme* (Hubisz, 2001). Según un estudio, de los 9 manuales de física más utilizados en el nivel de *college* en Estados Unidos sólo uno analizaba correctamente la primera ley de Newton (Sawicki, 1996).

Las definiciones de aceleración en algunos libros de texto analizados por Dall'Alba, Walsh, Bowden, Martin, Masters, Ramsden y Stephanou (1993) la presentaban como *cambio en la velocidad* sin considerar el tiempo como factor propio de la definición.

Comprender la necesidad y/o utilidad de los principios de conservación

Los principios de conservación en física son potentes construcciones conceptuales que permiten resolver problemas y analizar diversas situaciones que, de otro modo, serían difícilmente abordables. Algunos errores e imprecisiones en libros de texto permiten ilustrar la conveniencia y necesidad de estos principios.

Muchos libros incluyen dibujos de circuitos eléctricos en los que se muestra una corriente eléctrica entre un borne y otro de una batería *sin* tener en cuenta nada más. Por ejemplo, en un estudio realizado sobre 25 textos de tres niveles de enseñanza, un 40% de ellos no consideraba expresamente el paso de corriente por el interior del generador y afirmaban que *las cargas salen por un borne y entran por el otro* (De Manuel, 1994, p. 251). En las representaciones que se citan, debería producirse una acumulación de cargas de distinto signo en cada uno de los bornes, dado que, aparentemente, la corriente cesa en ellos. Esta representación incompleta puede ayudar al profesor a plantear con más detalle el papel de la batería en el circuito.

Un generador convierte energía magnética en eléctrica. Si esto fuese cierto, aquella desaparecería pasado un cierto tiempo (a no ser, evidentemente, que algún sistema suministre, de algún modo, más *energía magnética*). Lo cierto es que en los generadores se transforma energía mecánica en eléctrica (Hubisz, 2001, p. 14).

Asignar causas adecuadas a los efectos que se estudian

Las relaciones causa-efecto son fundamentales en ciencia (Pozo, 1987) y muchas ecuaciones no hacen sino reflejar estas dependencias. En este apartado se utilizan algunos ejemplos para insistir en la necesidad de asignar causas correctas a cada efecto.

Las fuerzas se presentan en algunos libros como la causa del movimiento (sin especificar más), olvidando que, en ausencia de fuerzas, un objeto también puede moverse. Una asociación dinámica más adecuada sería la de las fuerzas con las aceleraciones.

Un cortocircuito origina un aumento en la intensidad de la corriente (sobrecarga) y no al revés. Sin embargo, en un libro se lee *un circuito sobrecargado puede causar un cortocircuito* (Hubisz, 2001, p. 80).

3.2. Aprender estrategias, procesos y métodos de la ciencia

En este apartado se presentan ejemplos de cómo se pueden aprovechar los errores e imprecisiones de los libros de texto para diseñar actividades orientadas al logro de objetivos procedimentales.

Plantear y resolver problemas abiertos o sin solución

Una de las críticas recurrentes a los ejercicios tradicionales que se utilizan en la enseñanza de las ciencias es que son repetitivos y se parecen poco a los auténticos problemas abiertos del tipo que abordan los científicos. Otra característica que contribuye al uso de metodologías superficiales por los alumnos es el uso casi generalizado de valores numéricos para las variables que intervienen en ellos. Además, todo problema suele tener siempre solución, con lo que se refuerza la idea de que ésta es siempre posible (Gil, Martínez-Torregrosa y Senent, 1988; Gil, Carrascosa, Furió y Martínez-Torregrosa, 1991). En los manuales escolares podemos encontrar ideas para plantear problemas *sin* datos numéricos y *sin* solución correcta o problemas cuya solución lleva a resultados que permiten cuestionar el propio enunciado o planteamiento del problema, algo común en la ciencia.

Un dibujo muestra un jugador de béisbol aguardando una pelota que, según se puede apreciar, describe una trayectoria perfectamente *horizontal* (Kane y Sternheim, 1992, p. 179). La forma de utilizar esta situación abierta es sencilla: se trataría de calcular la velocidad inicial con que fue lanzada la pelota para que la trayectoria sea más o menos compatible con la del dibujo. El alumno debe suponer (u obtener) los valores necesarios de las magnitudes necesarias para resolver el problema.

En otra ilustración se muestra un objeto atado a una cuerda y girando *horizontalmente* (con la cuerda formando un ángulo de 90° con la vertical). Se plantea la pregunta: *Si atamos un objeto a una cuerda y lo hacemos girar en un plano horizontal, ¿qué fuerzas actúan sobre él?* (Candel, Satoca y Soler, 1990, p. 95). De nuevo, se trata de comprobar que dicha situación es físicamente imposible (¿qué fuerza equilibra el peso?), obteniendo, para ello, los valores necesarios de las magnitudes relevantes. Puede encontrarse una discusión más detallada de este ejemplo, pero igualmente incompleta en el libro de Miralles, Cotanda, Fernández y Ruiz, (1988, p. 81).

Controlar adecuadamente todas las variables que inciden en una situación

No son raros los errores en los libros de texto que tienen su origen en una interpretación de algún fenómeno en la que se presta atención sólo a algunas de las variables que inciden en él. Curiosamente, ésta parece ser una pauta inadecuada de pensamiento y razonamiento común en los alumnos (Campanario y Otero, 2000).

Un libro de texto afirma que la aceleración de la gravedad en la Luna es $1/6$ de la aceleración terrestre, porque la masa de la Luna es $1/6$ de la masa de la Tierra.

Además de que se comete un error con las masas respectivas, no se tiene en cuenta que el valor de la aceleración de la gravedad depende también del radio del planeta, satélite o estrella (Hubisz, 2001, p. 11).

«A diferencia de la fisión, la fusión no sucede de manera espontánea». Aquí no se considera el efecto de la temperatura que, como sucede en el Sol, sí que puede hacer que la fusión se produzca espontáneamente (Hubisz, 2001, p. 14).

Josip Slisko (2000) ha estudiado con detalle un error frecuente: las trayectorias erróneas de los chorros de agua que surgen de un recipiente en el que existen orificios a diferentes alturas. Según Slisko, la base del problema está en una explicación de las trayectorias en función de sólo uno de los factores que influyen en su alcance: la velocidad de salida que, efectivamente, aumenta con la presión y ésta con la profundidad. Se presta atención únicamente a la variable más fácilmente perceptible. Por tanto, se concluye equivocadamente que el orificio más bajo da lugar al chorro con mayor alcance. Sin embargo, un sencillo análisis demuestra que dicho alcance también depende del tiempo de caída según la ecuación $d = v_0 \cdot t$ (donde d = alcance, v_0 = velocidad inicial de salida y t = tiempo de caída). Las trayectorias correctas son ligeramente más complicadas que las que se suelen representar en los manuales escolares.

Utilizar adecuadamente las variables dependiente e independiente

Winston y Blais han demostrado que los libros de texto de física rara vez explican el significado de los términos *variable dependiente* y *variable independiente* (Winston y Blais, 1996). Además, en las presentaciones tradicionales de diversos contenidos científicos se siguen tradiciones que facilitan las confusiones de los alumnos relativas a estos conceptos.

Cuando se aborda el tema del calentamiento de una sustancia (por ejemplo, agua) con un mechero o un horno se suelen dibujar gráficos que muestran la temperatura frente al tiempo de calentamiento o frente al *calor* suministrado (que, lógicamente, depende del tiempo de calentamiento). La ecuación que se suele utilizar para describir el proceso de calentamiento en fase líquida es $\Delta Q = c \cdot m \cdot \Delta T$ (c = calor específico). En esta ecuación, aplicada al contexto que tratamos, parece que se invierte la relación entre variable dependiente y variable independiente. Una interpretación alternativa para ΔQ sería el *calor* necesario para conseguir un cambio ΔT .

En este caso, ΔT podría considerarse la variable independiente y ΔQ , la dependiente (como es aparente en la ecuación), pero entonces ΔQ debería representarse en el eje de ordenadas.

Replicar experimentos o analizar posibles deficiencias en la interpretación de una experiencia

Si queremos que los alumnos desarrollen un espíritu crítico debemos conseguir que se acostumbren a comprobar por sí mismos la veracidad de las conclusiones que se les presentan. Para ello puede ser interesante replicar y analizar experiencias que se plantean en los libros de texto y que se suelen interpretar de manera superficial.

Una experiencia común que se plantea a los alumnos para demostrar el efecto de la resistencia del aire en la velocidad de caída de un objeto consiste en proponer que suelten dos hojas de papel: una arrugada y otra sin arrugar. Se supone que la hoja arrugada caerá antes debido precisamente al efecto de la resistencia del aire sobre la otra. Es evidente que en esta sencilla experiencia se están eliminando posibilidades que podrían servir también para comprobar justamente lo que se quiere demostrar: una hoja sin arrugar puede hacerse caer de canto a más velocidad que una hoja arrugada. En este caso podemos insistir en la necesidad de tener en cuenta todas las posibilidades que pueden darse en un experimento y no sólo aquéllas aparentemente más probables.

Otra experiencia que no sale como se espera es la siguiente: se coloca una moneda sobre un papel y se da un tirón brusco al mismo. En este caso, en contra de lo que se afirma en algunos libros (Escudero, Lauzurica, Pascual y Pastor, 1991, p. 56), la moneda *sí* se mueve, dado que siempre existe algún rozamiento. Zalamea y Paris (1989) han analizado con detalle un ejemplo similar que suele confundir incluso a profesores.

En algunos libros se asimilan los procesos de calentamiento y de enfriamiento de un objeto, lo cual es erróneo porque, mientras en un calentamiento cabe esperar una dependencia lineal de la temperatura con el tiempo, el enfriamiento sigue una ley exponencial decreciente matemática y conceptualmente diferente (ley de enfriamiento de Newton). Esto puede comprobarse experimentalmente, como hicieron Fraile, García, García, Rodríguez y Rubio (1997).

Otro experimento interesante consiste en reproducir y analizar la experiencia que se cita en un conocido libro de física:

«Coloquemos 0,5 kilos de H_2O y un termómetro en una vasija e introduzcamos la vasija en una mezcla congelante hasta que el agua se congele y continúe enfriándose muy por debajo de su punto de congelación, por ejemplo, hasta $-20^\circ C$. Quitemos entonces el vaso y coloquémoslo en una habitación templada y, a intervalos iguales de tiempo convenientes, anotemos la temperatura del hielo cuando se va calentando hasta que alcance el punto de fusión y funde.» Contrariamente a lo que se afirma en el libro de texto de referencia, cuando se representa la temperatura T frente al tiempo t no se obtiene una recta, sino una curva. Éste es un ejemplo de *calentamiento natural* que rara vez se aborda en los libros de física (Fraile, García, García, Rodríguez y Rubio, 1997), por lo que es difícil encontrar otros libros que presenten el proceso adecuadamente.

Tener en cuenta la precisión de los instrumentos de medida

En los primeros cursos de universidad se insiste mucho en la necesidad de tener en cuenta la precisión de los instrumentos cuando se hacen comparaciones de resultados de distintas medidas. Nada mejor que medir para comprobar esta necesidad.

En un libro reciente de bachillerato de la LOGSE se muestra una ilustración que representa la segunda ley de la reflexión, con el único error posible: el ángulo de incidencia es distinto del de reflexión. Esta ilustración puede servir para introducir el tema de la precisión instrumental haciendo que los alumnos midan los dos ángulos con semicírculos graduados de distinta precisión (por ejemplo, 1° y 5°). En el segundo caso, las medidas de los ángulos serían compatibles, mientras en el primero, no.

Detectar formas inadecuadas de concebir las explicaciones científicas

A veces los alumnos asignan propiedades de los seres animados a entidades y objetos inanimados (Campanario y Otero, 2000). No resulta raro encontrar en los manuales escolares ejemplos de explicaciones en las que los objetos o entidades inanimadas también parecen perseguir sus propios fines y objetivos (muchas veces orientados a conseguir algo parecido a una mayor *comodidad*). Estas pautas explicativas pueden utilizarse para ayudar a los alumnos a entender la verdadera naturaleza de una explicación científica.

«La luz del sol calienta la Tierra y la atmósfera *intenta* distribuir el calor desde las zonas calientes a las más frías» (Sociedad Astronómica del Pacífico) (identificado en: www.ems.psu.edu/~fraser/Bad/PatheticFallacy.html).

En la explicación del mecanismo de sustentación de un avión, utilizando la ecuación de Bernoulli, se suele afirmar que el aire en la parte superior del ala debe moverse a mayor velocidad que el de la parte inferior *para poder alcanzar* la parte final del ala al mismo tiempo, dado que la forma del ala le obliga a recorrer un camino mayor.

Son comunes las explicaciones de procesos basadas en consideraciones energéticas en las que no resulta raro encontrar que un sistema, un objeto, una configuración, una molécula, etc. *intentan conseguir* el estado de mínima energía.

4. CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS

Los ejemplos anteriores constituyen un variado repertorio que permite al profesor diseñar actividades de enseñanza orientadas a conseguir distintos objetivos educativos. Con

las propuestas que se plantean se incide en una línea de trabajo orientada a diseñar alternativas docentes poco habituales para su empleo en la enseñanza de las ciencias en el nivel de secundaria y primeros cursos de universidad (Campanario, 1998, 2001a, 2001b). Además, estas alternativas son compatibles con enfoques más globales como, por ejemplo, el aprendizaje como investigación o el aprendizaje basado en el uso de problemas (Campanario y Moya, 1999).

Slisko ha llamado la atención sobre la necesidad «de elaborar una taxonomía de los errores que se encuentran en los libros de texto de física escolar, a la vez que se elaboran estrategias que ayuden a los profesores y profesoras a detectar nuevos ejemplos de manera autónoma» (Slisko, 2000, p. 96). Es evidente que la clasificación que se ha realizado más arriba constituye un primer intento de articular una taxonomía orientada, más que a la denuncia, a la utilización didáctica de los errores e imprecisiones en los textos de física. Sin embargo, de cara a un análisis más detallado, un paso inexcusable debería consistir, precisamente, en elaborar compilaciones exhaustivas de los errores e imprecisiones que se encuentran en libros de texto como las siguientes:

<www.escape.ca/~dcc/phys/errors.html>,
<www.psrc-online.org/curriculum/book.html>,
<www.ems.psu.edu/~fraser/Bad/PatheticFallacy.html>,
<www.amasci.com/miscon/miscon4.html>,
<www.amasci.com/miscon/eleca.html>

Estas colecciones son útiles, además, porque pueden ayudar a los futuros autores de manuales escolares a evitar deficiencias ampliamente conocidas, a la vez que sirven para articular taxonomías que permitan clasificar los errores e imprecisiones. El estudio de los errores de los libros de texto de ciencias y su posible utilización en la enseñanza constituye un excelente dominio abierto a la actuación del profesor-investigador que sabe hacer, de la necesidad, virtud.

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi agradecimiento a Josip Slisko por introducirme en el apasionante mundo de los errores de los libros de texto de ciencias, a Alan B. Fraser por indicarme dónde encontrar materiales adicionales y a J. Fraile Delgado, J. García Hourcade, J. García Montes, C. Rodríguez de Avila y J. Rubio Regueiro por enviarme documentación adicional sobre su estudio comentado más arriba y citado en la lista de referencias. Asimismo, quiero reconocer el trabajo de dos asesores anónimos que han formulado comentarios útiles para mejorar el artículo. Algunos de estos comentarios se han tenido en cuenta y se han incluido en el texto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BASCONES, F., LATORRE, M., MOLINER, J.F. y RIUS, J.M. (1990). *Física y química. Segundo de BUP*. Zaragoza: Edelvives.
- BAUMAN, R.P. (1992a). Physics that textbook writers usually get wrong. *Physics Teacher*, 30(5), pp. 264-269.
- BAUMAN, R.P. (1992b). Physics that textbook writers usually get wrong: II. Heat and energy. *Physics Teacher*, 30(6), pp. 353-356.
- BAUMAN, R.P. (1992c). Physics that textbook writers usually get wrong: III. Forces and vectors. *Physics Teacher*, 30(7), pp. 402-407.
- CAMPANARIO, J.M. (1998). Using counterintuitive problems in teaching Physics. *The Physics Teacher*, 36, pp. 439-441.
- CAMPANARIO, J.M. (2000). El desarrollo de la metacognición en el aprendizaje de las ciencias: estrategias para el profesor y actividades orientadas al alumno. *Enseñanza de las Ciencias*, 18(3), pp. 369-380.
- CAMPANARIO, J.M. (2001a). ¿Qué puede hacer un profesor como tú o un alumno como el tuyo con un libro de texto como éste? Una relación de actividades poco convencionales. *Enseñanza de las Ciencias*, 19(3), pp. 351-364.
- CAMPANARIO, J.M. (2001b). Algunas propuestas para el uso alternativo de los mapas conceptuales y los esquemas como instrumentos metacognitivos. *Alambique. Didáctica de las Ciencias Experimentales*, 28, pp. 31-38.
- CAMPANARIO, J.M., CUERVA, J., MOYA, A. y OTERO, J.C. (1998). La metacognición y el aprendizaje de las ciencias, en *Investigación e Innovación en la Enseñanza de las Ciencias*, I. Murcia: Editorial Diego Marín.
- CAMPANARIO, J.M. y MOYA, A. (1999). ¿Cómo enseñar ciencias? Las principales tendencias y propuestas. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), pp. 179-192.
- CAMPANARIO, J.M. y OTERO, J.C. (2000). Más allá de las ideas previas como dificultades de aprendizaje: las pautas de pensamiento, las concepciones epistemológicas y las estrategias metacognitivas de los alumnos de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, 18 (2), 155-169.
- CANDEL, A., SATOCA, J., SOLER, J.B., TENT, J.J. (1990). *Física y química. Bachillerato 2*. Madrid: Anaya.
- CARRASCOSA, J. y GIL, D. (1992) Concepciones alternativas en mecánica. *Enseñanza de las Ciencias*, 10(3), pp. 314-327.
- CONCARI, S.B., POZZO, R.L. y GIORGI, S.M. (1999). Un estudio sobre el rozamiento en libros de física de nivel universitario. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(2), pp. 273-280.
- COX, R.A. (1996). It is naive to expect school science books to be accurate? *School Science Review*, 78(282), pp. 23-31.
- DALL'ALBA, G., WALSH, E., BOWDEN, J., MARTIN, E., MASTERS, G., RAMSDEN, P. y STEPHANOU, A. (1993). Textbook treatment and students' understanding of acceleration. *Journal of Research in Science Teaching*, 30(7), pp. 621-635.
- DE MANUEL, E. (1994). El papel que desempeña el generador electroquímico: su tratamiento en los textos de los tres niveles educativos, en Hernández, L. y Jiménez, E. (coords.). *La didáctica de las ciencias experimentales a debate*. Ponencias, comunicaciones y pósters presentados en los XV Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales Universidad de Murcia, pp. 245-255.
- DRIVER, R., GUESNE, E. y TIBERGHIE, A. (1989). *Ideas científicas en la infancia y en la adolescencia*. Madrid: MEC-Morata.
- ESCUADERO, P., LAUZURICA, M.T., PASCUAL, R. y PASTOR, J.M. (1991). *Física y química. 2º BUP*. Madrid: Santillana.
- FRAILE, J.J., GARCÍA, J.L., GARCÍA, J., RODRÍGUEZ, C. y RUBIO, J. (1997). Estudio experimental de procesos de calentamiento y enfriamiento. Resultados e implicaciones didácticas. *Enseñanza de las Ciencias*, 15(3), pp. 329-342.
- FURIÓ, C. y GUIASOLA, J. (1999) Concepciones alternativas y dificultades de aprendizaje en electrostática. Selección de cuestiones elaboradas para su detección y tratamiento. *Enseñanza de las Ciencias*, 17(3), pp. 441-452.
- GAULD, C. (1997) It must be true - it's in the textbook! *Australian Science Teacher's Journal*, 43(2), pp. 21-26.
- GIL, D., CARRASCOSA, J., FURIÓ, C. y MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. (1991). *La enseñanza de las ciencias en la educación secundaria*. Barcelona: ICE. Universitat de Barcelona.
- GIL, D., MARTÍNEZ-TORREGROSA, J. y SENENT, F. (1988). El fracaso en la resolución de problemas de física: una investigación orientada por nuevos supuestos. *Enseñanza de las Ciencias*, 6(2), pp. 131-146.
- HIERREZUELO, J. y MONTERO, A. (1991). *La ciencia de los alumnos. Su utilización en la didáctica de la física y de la química*. Málaga: Elzevir.
- HUBISZ, J.L. (2001). *Review of Middle School Physical Science Text. Final Report*. The David and Lucile Packard Foundation, Grant #1998-4248.
- IONA, M. (1990) Would you believe? Artistic blunders. *The Physics Teacher*, 28(2), pp. 116-117.
- KANE, J.W. y STERNHEIM M.M. (1992). *Física*. (2a. ed.) Barcelona: Reverté.
- MICHINEL, J.L. y D'ALESSANDRO, A. (1994). El concepto de energía en los libros de texto: de las concepciones previas a la propuesta de un nuevo lenguaje. *Enseñanza de las Ciencias*, 12(3), pp. 369-380.
- MIRALLES, L., COTANDA, V., FERNÁNDEZ, M.R. y RUIZ, A. (1988). *Física y química. 3º de BUP*. Valencia: ECIR.
- POZO, J.I. (1987). *Aprendizaje de las ciencias y pensamiento causal*. Madrid: Visor-Aprendizaje.
- SAWICKI, M. (1996). What's wrong in the nine most popular text. *The Physics Teacher*, 34(3), pp. 47-49.
- SLISKO, J. (1995). The limitless world of textbook mistakes. *The Physics Teacher*, 33, p. 381.

- SLISKO, J. (1999). ¿Cómo eliminar os erros comúns en problemas numéricos da Física escolar? *Boletín das Ciencias*, 38, pp. 41-49.
- SLISKO, J. (2000). Los mitos más populares de la física escolar. Parte 1: Trayectorias erróneas de tres chorros de agua. *Alambique*, 25, pp. 95-102.
- SLISKO, J. y DYKSTRA, D.I. (1997). The role of scientific terminology in research and teaching. Is something important missing? *Journal of Research in Science Teaching*, 34(6), pp. 655-660.
- SLISKO, J. y KROKHIN, A. (1995). Physics or Fantasy? *The Physics Teacher*, 33, pp. 210-212.
- SOLBES, J., CALATAYUD, M., CLIMENT, J. y NAVARRO, J. (1987). Errores conceptuales en los modelos atómicos cuánticos. *Enseñanza de las Ciencias*, 5(3), pp. 189-195.
- WINSTON, A.S. y BLAIS, D.J. (1996). What counts as an experiment?: A transdisciplinary analysis of textbooks, 1930-1970. *American Journal of Psychology*, 109, pp. 599-616.
- WHITING, W.B. (1991) Errors. A rich source of problem and examples. *Chemical Engineering Education*, 25(3), pp. 140-144.
- ZALAMEA, E. y PARIS, R. (1989) ¿Saben los maestros la física que enseñan? *Enseñanza de las Ciencias*, 7(3), pp. 251-256.

[Artículo recibido en junio de 2001 y aceptado en enero de 2002.]

ANEXO

Cuadro I

Ejemplo de tarea de análisis de un libro de texto.

FUERZAS DE ROZAMIENTO

6 § 5

de ensayo (fig. 6.10) que forma parte de una centrifugadora, y dentro del mismo partículas sólidas tales como A y B; sobre ellas no actúa ninguna fuerza (salvo las de arrastre en virtud del rozamiento, y por tanto, deberán desplazarse según una línea recta determinada por la dirección de la velocidad inicial que posean; pero como el tubo que las contiene gira, aquel movimiento rectilíneo inicial de que están animadas A y B debe ineludiblemente llevarlas hacia el fondo del tubo, bien directamente o tras sucesivos choques contra las paredes laterales: ¡las partículas son centrifugadas sin la intervención efectiva de ninguna fuerza real!; se trata de un efecto de inercia como el que nos echa hacia atrás al arrancar un vehículo o nos proyecta lateralmente en las curvas (fig. 6.9), aunque naturalmente para un observador ligado al sistema móvil (centrifugadora o vehículo) tal efecto parecerá debido a una fuerza real.

6.5. Fuerzas de rozamiento.—Si montamos un dispositivo como el de la figura 6.11 (tribómetro), observaremos que para que el cuerpo comience a deslizarse sobre el plano, BC, es necesario colocar en el platillo, P,

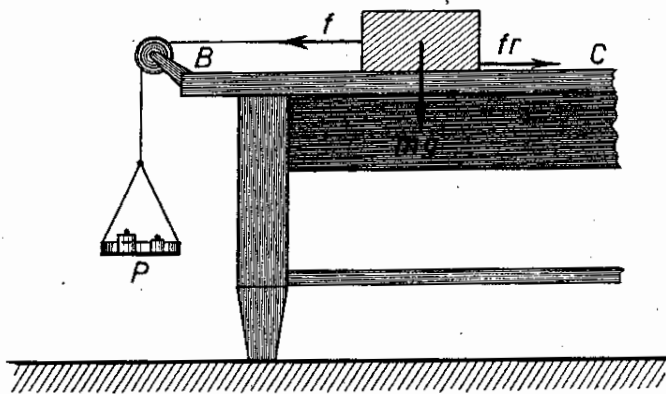


Fig. 6.11.—Tribómetro.

un determinado número de pesas, de modo que ejerzan la fuerza tangencial f . Esto nos indica que existen fuerzas tangenciales en el contacto de dos cuerpos cualesquiera, que se ponen de manifiesto al intentar desplazar uno respecto al otro, pues de otro modo no se explica la resistencia que opone el cuerpo a su deslizamiento, ya que el peso mg del mismo queda anulado por la reacción del plano. Estas fuerzas tangenciales, cuyo origen hay que buscarlo en las irregularidades de las superficies de contacto y en la adhesión o coherencia entre ambas, reciben el nombre de **fuerzas de rozamiento**. Si en la experiencia anterior llamamos f_r a la resultante de estas fuerzas, se comprende que cuando $f = f_r$ bastará un impulso cualquiera en la dirección de f para que el cuerpo se deslice con movimiento uniforme. Si $f > f_r$, el cuerpo se moverá con movimiento uniformemente acelerado debido a la fuerza constante $f - f_r$ y si $f < f_r$, el cuerpo permanecerá en reposo.

El estudio de estas fuerzas es puramente empírico; se comprueba que la fuerza de rozamiento es proporcional a la componente N del peso, normal al plano de deslizamiento (fig. 6.12):

$$f_r = \mu N$$

(6.14)

La figura anterior se ha tomado de un libro de texto y representa una situación física seguida de un análisis de la misma. Lee con atención el texto y señala cualquier cosa que no entiendas o que te parezca incorrecta o incompleta. Contesta, a continuación a las preguntas siguientes.

- 1) En el dibujo no se representan todas las fuerzas que intervienen. Dibújalas y justifica cuál es su origen físico.
- 2) En particular, para entender el equilibrio del objeto sobre la mesa, es necesaria una fuerza que en el texto se llama *reacción del plano*. Dibuja esta fuerza y discute brevemente su origen físico y la conveniencia o no de llamarla como se hace en el texto.
- 3) ¿Qué es un tribómetro? ¿Por qué se utiliza ese término?
- 4) Aplica la condición de equilibrio de un sólido (suma de momentos = 0) al objeto que está sobre la mesa. ¿Qué obtienes?
- 5) En el texto se menciona una *resistencia que opone el cuerpo a su deslizamiento*, ¿cuál es el origen físico de dicha resistencia?, ¿depende únicamente del cuerpo?, ¿realmente un cuerpo *opone resistencia* a su deslizamiento?
- 6) ¿Cómo «sabe» el plano que debe ejercer una fuerza (llamada *reacción del plano* en el texto) que debe ser justamente la necesaria como para anular el peso mg del objeto?
- 7) En el texto se afirma que *existen fuerzas tangenciales en el contacto de dos cuerpos cualesquiera...* ¿Siempre se dan estas fuerzas en cualquier circunstancia o en cualquier configuración?
- 8) Tal como está planteada la situación física del dibujo, ¿crees que *bastará un impulso cualquiera en la dirección de f para que el cuerpo se deslice con movimiento uniforme*, como se afirma en el texto?
- 9) Analiza las diferencias entre *dirección y sentido* de un vector. ¿Crees que estos términos se utilizan correctamente en el texto?
- 10) Conocidas f y f_r calcula cuánto debe valer la fuerza f_2 necesaria para mover hacia la derecha el objeto con velocidad constante.
- 11) Aplica la segunda ley de Newton al caso $f < f_r$ que se comenta en el texto e indica si, efectivamente, el cuerpo permanecerá en reposo.
- 12) ¿Es válida en cualquier situación la ecuación que se da en el texto para la fuerza de rozamiento?
- 13) En el texto se menciona *el componente N del peso, normal al plano de deslizamiento* como factor que determina la fuerza de rozamiento. ¿Significa esto que, si ejercemos sobre el objeto una fuerza en la misma dirección del peso pero de sentido contrario o si empujamos el objeto contra el plano, la fuerza de rozamiento seguiría siendo la misma?
- 14) En la página siguiente del libro que analizamos se continúa la explicación así: *siendo el coeficiente característico de las superficies en contacto e independiente del área de las mismas, que recibe el nombre de coeficiente estático de fricción. Por ser μ cociente de dos fuerzas f_r/N carece de dimensiones*. Busca otros libros de texto en los que se presente de la misma manera la fuerza de rozamiento entre un objeto y una superficie.
- 15) A la vista de la información que se presenta en el enunciado de la pregunta anterior, ¿crees que debes cambiar o matizar las respuestas a la preguntas anteriores? Justifica tu respuesta.